

FUEL CELL, MANUFACTURE OF FUEL CELL, COMPOSITE GAS SEPARATOR, AND ITS MANUFACTURE

Patent Number: JP9283157
Publication date: 1997-10-31
Inventor(s): MAEDA HIDEO; MITSUTA KENRO
Applicant(s): MITSUBISHI ELECTRIC CORP
Requested Patent: ☐ JP9283157
Application Number: JP19960097110 19960418
Priority Number(s):
IPC Classification: H01M8/02; H01M8/06; H01M8/10
EC Classification:
Equivalents: JP3331117B2

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a fuel cell in which the supply and discharge of water content is smooth, and stable and high characteristics are obtained.

SOLUTION: Unevenness 34 is provided on a conductive thin plate 32 having a large number of through holes 32h, and an oxidizing agent gas passage 11 and a fuel gas passage 12 are formed by the space formed between the thin plate 32 and unit cells 10. The through holes 32h are sealed by resin 33 which is water permeable and non-gas permeable so that no gas is allowed to pass but water can move.

Thereby, excess water content produced on the oxidizing agent electrode side of a fuel cell is supplied to a fuel electrode side where the water content is apt to be insufficient via a separator. Therefore, gas flow is improved on an air side, and the water content is properly supplied to an electrolyte film on the fuel electrode side so that high conductivity can be kept and high characteristics can be maintained.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-283157

(43) 公開日 平成9年(1997)10月31日

(51) Int.Cl.⁸

H 0 1 M 8/02

8/06

8/10

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 M 8/02

8/06

8/10

技術表示箇所

B

R

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号

特願平8-97110

(22) 出願日

平成8年(1996)4月18日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 前田 秀雄

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 光田 憲朗

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 弁理士 曾我 道照 (外6名)

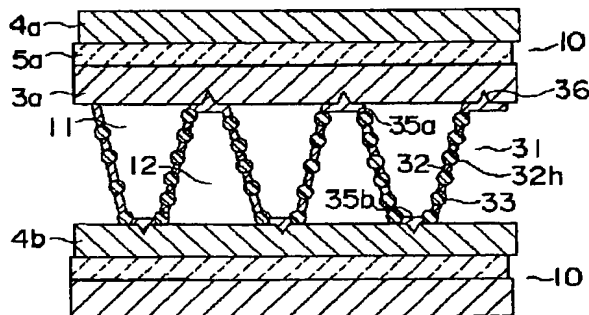
(54) 【発明の名称】 燃料電池、燃料電池の製造方法、複合ガスセパレータ、およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 水分の供給と排出がスムーズで、安定した高い特性を出すことができる燃料電池を得る。

【解決手段】 多数の貫通孔32hを有する導電性薄板32に凹凸(34)を設け、この薄板32と単電池10の間に形成される空間で、酸化剤ガス流路11と燃料ガス流路12を形成する。貫通孔32hは透水性で不透気性の樹脂33で封孔されており、ガスは通さないが水分が移動できる。

【効果】 燃料電池の酸化剤電極側で発生した余分な水分がセパレータを介して水分が不足しがちな燃料電極側に供給される。そのために、空気側ではガスの流通が良くなり、燃料電極側では電解質膜に適度な水分が供給されるために高い伝導度を保つことができ、高い特性を安定して維持できる。



3a: 酸化剤電極

4b: 燃料電極

10: 単電池

11: 酸化剤ガス流路

11: 燃料ガス流路

32h: 貫通孔

33: 封孔樹脂

【特許請求の範囲】

【請求項1】 イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極が配されてなり、供給される酸化剤および燃料ガスにより発電を行う、少なくとも2以上重ねられる単電池と、

上記単電池間に設けられ、凹凸部を表裏に有する導電性の薄板を備えるガスセパレータであって、上記薄板の表面から裏面にかけて貫通する多数の貫通孔を有し、かつ上記貫通孔が透水性で不透気性の樹脂で封孔されてなり、上記薄板の上記凹凸部と上記単電池の電極間にできる少なくとも2つの空間で上記電極に供給される上記酸化剤ガスおよび上記燃料ガスのそれぞれを供給する流体流路を形成してなる上記ガスセパレータと、を備えてなる燃料電池。

【請求項2】 請求項1記載の燃料電池において、上記薄板に設けられる貫通孔は、上記薄板が上記電極と接する上記凸部の頂部分を除いた部分にのみ設けられている燃料電池。

【請求項3】 イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極が配されてなり、少なくとも2以上重ねられる単電池と、

上記単電池間に設けられ、凹凸部を表裏に有し、上記凹凸部と上記単電池の電極間にできる空間で上記電極に供給されるガスの流体流路を形成してなる導電性のガスセパレータであって、上記凹凸部が平面視同一位置に設けられ、かつ、上記電極と積層したときに形成される空間体積が上記ガスセパレータの構成材料の体積と同等以上となる上記ガスセパレータと、を備えてなる燃料電池。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の燃料電池において、上記ガスセパレータにおける上記電極と接する凸部に上記電極材料を構成する繊維径の10倍以下の高さで直径を有する突起を備えてなる燃料電池。

【請求項5】 請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の燃料電池において、上記ガスセパレータにおける上記電極と接する凸部以外の部分に絶縁性のコーティングがなされている燃料電池。

【請求項6】 請求項1に記載の燃料電池において、上記透水性で不透気性の樹脂として、下記イ〜ハに記載のいずれかの材料を用いてなる燃料電池。

イ) 含水率(水中浸漬時)が50重量%以上になるイオン交換樹脂

ロ) 上記イ中の特にポリパーフルオロスルホン酸、またはそのフッ素化物

ハ) セルロースまたはセルロース誘導体

【請求項7】 請求項1に記載の燃料電池の製造方法に

おいて、

上記ガスセパレータの製造に際しては、上記薄板に、樹脂の溶液を塗布して、乾燥させるようにしてなる燃料電池の製造方法。

【請求項8】 請求項1に記載の燃料電池において、上記貫通孔を有する薄板の形状として下記二〜へのいずれかの形状を用いてなる燃料電池。

ニ) エクスパンドメタル(ラス)

ホ) メッシュ

ヘ) フェルトまたはウェブ焼結体

【請求項9】 請求項1に記載の燃料電池において、上記薄板として下記ト〜ヌの材料のいずれかを用いてなる燃料電池。

ト) 純チタン及びチタン合金(Cr、V添加)

チ) タンタル、ニオブ

リ) 金メッキを施した銅またはニッケル

ヌ) SUS316、316L

【請求項10】 請求項5に記載の燃料電池において、上記絶縁性のコーティングとして、水との接触角が180°以上の材料を用いてなる燃料電池。

【請求項11】 請求項10に記載の燃料電池において、

上記材料として、下記ル、ヲに記載のいずれかの材料を用いてなる燃料電池。

ル) PTFE、PFA、FEP、ETFE、PVDF、TFE等のフッ素系樹脂

ヲ) シリコン樹脂

【請求項12】 請求項5に記載の燃料電池の製造方法において、

上記絶縁性のコーティングは、絶縁性の樹脂のエマルジョンを塗布して、乾燥後、上記樹脂の融点以上であって、分解点未満の温度で焼成した後に、透水性樹脂による封孔を行うようにしてなる燃料電池の製造方法。

【請求項13】 請求項1乃至請求項5のいずれかに記載のガスセパレータを複数個平面的に硬質の絶縁性の樹脂を介して連結してなる燃料電池の複合ガスセパレータにおいて、

上記複合ガスセパレータを積層した際に連通する上記流体流路の周辺部にエラストマーを備えてなる燃料電池の複合ガスセパレータ。

【請求項14】 請求項13に記載の複合ガスセパレータの製造方法において、

上記ガスセパレータの薄板の表裏に形成される上記凹凸部の加工と上記絶縁性の樹脂との接合を熱間プレス成形により同時に行うようにしてなる燃料電池の複合ガスセパレータの製造方法。

【請求項15】 請求項13に記載の燃料電池の複合ガスセパレータにおいて、上記硬質の絶縁性の樹脂として熱変形温度が燃料電池の運転温度よりも高い80℃以上の樹脂であって、下記ワ

～ヨに記載のいずれかの樹脂を用いてなる燃料電池の複合ガスセパレータ。

ワ) ポリカーボネート及びガラス強化ポリカーボネート
カ) 耐熱ABS樹脂

ヨ) ガラス繊維充填不飽和ポリエステル

タ) ナイロン6及びガラス強化ナイロン

レ) フェノール

ソ) シリコン樹脂

【請求項16】 請求項13に記載の燃料電池の複合ガスセパレータにおいて、

上記エラストマーとして、耐熱温度が燃料電池の運転温度よりも高い80℃以上の融点の樹脂であって、下記ツ～ナに記載のいずれかの樹脂を用いてなる燃料電池の複合ガスセパレータ。

ツ) NBR、CR、EPM、EPDM、IIR、CSM
ネ) フッ素系FPM

ナ) シリコン系MPQ

【請求項17】 イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極を配した単電池、及び該単電池の電極部の一方に酸化剤ガス、他方に燃料ガスを供給する流体流路を形成する導電性のガスセパレータを絶縁樹脂で互いに絶縁して平面内で複数連結してなる燃料電池の複合ガスセパレータにおいて、

上記互いに絶縁された上記ガスセパレータ間に上記ガスセパレータを横断する流体流路を設け、該流路中の絶縁部を通る部分または絶縁部と導電部の境界部分において水滴を分断する括れを設けてなる燃料電池の複合ガスセパレータ。

【請求項18】 イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極を配した単電池、及び該単電池の電極部の一方に酸化剤ガス、他方に燃料ガスを供給する流体流路を形成する導電性のガスセパレータを絶縁樹脂で互いに絶縁して平面内で複数連結してなる燃料電池の複合ガスセパレータにおいて、

上記互いに絶縁された上記ガスセパレータ間に上記ガスセパレータを横断する流体流路を設け、該流路中の絶縁部を通る部分または絶縁部と導電部の境界部分に、親水性材料を設けてなる燃料電池の複合ガスセパレータ。

【請求項19】 イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極を配した単電池、及び該単電池の電極部の一方に酸化剤ガス、他方に燃料ガスを供給する流体流路を形成する導電性のガスセパレータを絶縁樹脂で互いに絶縁して平面内で複数連結してなる燃料電池の複合ガスセパレータにおいて、

上記各ガスセパレータに接続された導線を上記絶縁樹脂に埋設して上記複合ガスセパレータの端部まで引き出し

燃料電極反応： $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

てなる燃料電池の複合ガスセパレータ。

【請求項20】 イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極を配した単電池、及び該単電池の電極部の一方に酸化剤ガス、他方に燃料ガスを供給する流体流路を形成する導電性のガスセパレータを絶縁樹脂で互いに絶縁して平面内で複数連結してなる燃料電池の複合ガスセパレータにおいて、

上記絶縁樹脂に上記平面に平行に熱電対線を埋設し、該熱電対の端部を上記複合ガスセパレータ端部まで引き出してなる燃料電池の複合ガスセパレータ。

【請求項21】 イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極を配した単電池、及び該単電池の電極部の一方に酸化剤ガス、他方に燃料ガスを供給する流体流路を形成する導電性のガスセパレータを絶縁樹脂で互いに絶縁して平面内で複数連結してなる燃料電池の複合ガスセパレータにおいて、

上記絶縁樹脂に上記平面に平行に貫通孔を設け、該貫通孔に内部で対となる熱電対素線を一方の入口側から他方の口にまたがって渡し、上記貫通孔内部に熱電対の接合部が位置するようにしてなる燃料電池の複合ガスセパレータ。

【請求項22】 複数のガスセパレータと単電池を積層してなる燃料電池において、

上記ガスセパレータ単体及び積層時に形成される流体流路が、同一種の流体について複数の並列流路を有し、該並列流路上の任意の点を通る流体が、並列する同種の流体の流路中の入り口から出口において同じ流路長を流れるようにしてなる燃料電池。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電気化学的な反応を利用して発電する、例えば電気自動車等で使用される燃料電池に関するものである。

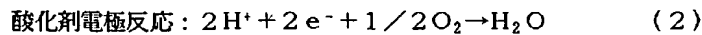
【0002】

【従来の技術】燃料電池は周知のように、電解質を介して一対の電極を接触させ、この一方の電極に燃料を、他方の電極に酸化剤を供給し、燃料の酸化を電池内で電気化学的に反応させることにより、化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換する装置である。燃料電池には電解質によりいくつかの型があるが、近年高出力の得られる燃料電池として、電解質に固体高分子電解質膜を用いた固体高分子型燃料電池が注目されている。

【0003】この燃料電池においては、燃料電極に流体である水素ガスを、酸化剤電極に流体である酸素ガスを供給し、外部回路より電流を取り出すとき、下記のような反応が生じる。

【0004】

(1)



【0005】このとき燃料電極上で水素はプロトンとなり、水を伴って電解質体中を酸化剤電極上まで移動し、酸化剤電極上で酸素と反応して水を生ずる。従って、上記のような燃料電池の運転には、反応ガスの供給と排出、電流の取り出しが必要となる。さらに、固体高分子型燃料電池では、室温から100℃以下の範囲での運転が想定されるので、水を液体状態で扱うことになる。従って燃料電極への水の補給と酸化剤電極からの水の排出も重要となる。

【0006】また、代表的な高分子電解質型燃料電池では電極面積あたり1A/cm²以上の高電流を取り出すことができ、例えば電極面積が100cm²程度の燃料電池においては、単セルを流れる電流は実に100A以上となる。一方、単セル当たりの出力電圧は、電池の発電効率を50%と想定すると、0.7V程度となり、実用に適した100V以上の電圧を得るには、百枚以上のセルを直列に積層する必要がある。従って、コンパクトで性能のよい燃料電池の実現には、電流が取り出せて、反応に必要な流体を供給できるように、導体でできた薄いガスセパレータを使用し、積層体を構成することになる。

【0007】そこで、これらの条件を満たすために従来より数々の工夫がなされてきた。水の供給方法としては、第1従来技術として特開平6-338338号公報のように、ガス流路に隣接して水の流路を設け、水の流路から直接、水を供給する方法が提案されている。

【0008】図21は、その中で示された燃料電池のガス流路（流体流路）の断面図であり、図において1、2はガスセパレータで、水が通れるよう多孔質カーボン材料で構成されている。3は酸化剤電極、4は燃料電極、5はプロトン導電性の固体高分子を用いた電解質膜であり、酸化剤電極3および燃料電極4とともに単電池10を構成する。6、7は、水用のセパレータ板である。11はガスセパレータ1に溝状に形成され、酸化剤電極3に酸化剤ガスとしての例えば酸素ガスを供給する酸化剤ガス流路、12はガスセパレータ2に溝状に形成され、燃料電極4に燃料ガスである、例えば水素ガスを供給する燃料ガス流路である。13、14は共に水が流れる流路である。

【0009】以下、上記第1従来技術の燃料電池の動作について説明する。ガスセパレータ1と単電池10で囲まれたガス流路11には酸化剤ガスが供給される。一方、燃料ガスは酸化剤ガスと同様に、ガス流路12に供給される。このとき、酸化剤電極3と燃料電極4を電気的に外部で接続すると、酸化剤電極3側では上式(2)の反応が生じ、燃料電極4側では上式(1)の反応が生じる。この反応が成立するためには、電解質膜5に水分が含まれていることが必要であるが、水流路13、14を流れる水が、ガスセパレータ1、2中を浸透して電極

3、4を経て電解質膜5に到達することで、電解質膜の湿潤維持を図っている。

【0010】また、第2従来技術として、特開平3-182052号公報では、図22に示すように、燃料電極4とガスセパレータ2の間に疎水性のガス拡散層8を挿入し、ガス拡散層8には、拡散層を貫通する複数の親水性部分9を分散配置し、それぞれの親水性部分9に直接水が接するようにガスセパレータ2の一部に連通路15を点在させ、ガスセパレータを配置して水を供給する方法も提案されている。

【0011】さらに、第3従来技術としては、供給されるガス中に計量した水の微滴を噴射するようにした特開平7-14597号公報に示されるような技術も提案されている。

【0012】また、酸化剤電極の水の排出に関しては、ガス流路形状の工夫で解消しようとする試みがあり、例えば第4従来技術として、特開平3-205763号公報のみに開示されている技術が挙げられる。

【0013】図23は、この第4従来技術の燃料電池のガスセパレータ1の上面図である。この技術では、ガス流路11、12（図23ではガス流路11のみ図示）を蛇腹型にしてガスセパレータの平面の縦横寸法よりも長くし、ガス流速を増加させて境界膜を薄くすることにより、反応に必要なガスの拡散を促進するとともに、酸化剤電極で発生した水を効率よく排出させている。

【0014】図23において、20はガスセパレータ1の主表面、21はガスセパレータ1における電極（図示しない）を支持する電極支持部分、22はガスセパレータ1に形成され、流体（酸素ガス）が供給される流体供給口、23はガス流路11の一端に形成された流体入口、24は流体流路11の他端に形成された流体出口、25は流体出口24からのガスを排出するための流体排出口である。

【0015】以下、第4従来技術として示される燃料電池の動作について説明する。ガスセパレータ1の流体供給口22より供給された酸素ガスは、流体入口23よりガス流路11を通して酸化剤電極（図示しない）に供給され、一方、水を含んだ水素ガスは上記酸化剤ガスと同様に、ガス流路（図示しない燃料ガス流路）より燃料電極（図示しない）に供給される。このとき、酸化剤電極と燃料電極は電気的に外部で接続されているので、酸化剤電極側では上式(2)の反応が生じ、ガス流路11を通して未反応ガスが、流体出口24より流体排出口25に排出され、流速が速いために、液体の水も同時に排出される。

【0016】さらに、第5従来技術として、ガス流路の断面積を下流に行くにつれて小さくするようにした特開平6-267564号公報に示されるような技術も提案されている。

【0017】また、200V以上の直流電圧を出力するには、300セル以上の単電池を積層する必要がある。単セル1枚あたりの厚みはガス流路の高さを1~2mmに取ったとして、ガスセパレータをカーボンで作った場合には、強度を持たせるために、5mm程度になる。これだけのセルを積層すると2mもの長さになる。一方1枚あたりの面積は、 $1\text{A}/\text{cm}^2$ の電流密度の場合には 100cm^2 程度となるので10数センチ角程度で済む。すると積層体の形状は縦、横と高さの比が10倍以上も開くことになり機械的に非常に不安定となる。

【0018】そこで、例えば50セルずつ8個の積層体を並べる方式も考えられるが、その場合には締め付け装置やガス分配が複雑になり小型化が困難となる上、近接した積層体の短絡防止のために特別な工夫を施す必要があった。

【0019】そこで、容積効率を向上させてセルの数を増やすために、第6従来技術として、特開平6-218275号公報に示される技術では、薄い金属板に凹凸をつけて溶接し、燃料ガス、酸化剤ガス、冷却水を流すことができるガスセパレータを提案している。

【0020】さらに、燃料側と酸化剤側の流量の違いから、流路断面積を燃料側の方が小さくするように導電性の薄板を加工してガスセパレータを形成する特開平6-236765号公報に示される技術が提案されている。

【0021】また、平面内に電氣的に独立した電池を並べ積層する第7従来技術として、特開昭59-134571号公報等が知られている。

【0022】さらにまた、第8従来技術として、隣接する電池の燃料電極側と酸化剤電極側を順次接続する実公昭38-13622号公報や特開昭53-122739号公報等が知られている。

【0023】また、小型軽量化を図ることを目的とする、第9従来技術として、特開昭53-122739号公報および特開昭53-122740号公報では、ガスマニホールドの数を節減するために、平面内の複数の電池にガスを直列に流す方法が提案されている。

【0024】

【発明が解決しようとする課題】しかし、第1、第2従来技術の場合においては、水を供給するために余分な動力を消費する欠点や、余分な流体配管を設置することにより、装置の小型・軽量化を困難にする欠点と、最適な水分量の調整が困難であるという欠点があった。さらに、燃料に水を与えると燃料電極4から酸化剤電極3へ移動する水の量が増加するので、酸化剤電極3からの水の排出はさらに困難になる。

【0025】また、第3従来技術では、水分量を計量することで総量としては最適な水分を付与することができるが、セル内のガス流路の上流に多量の水分を与えるためにガスの流通が不十分になったり、逆に下流側では水が不足して抵抗が上昇し特性が低下するという欠点があ

った。

【0026】また、第4従来技術の場合でも、ガス流路を蛇腹型にすることで特性は高くなるが、複雑な切削加工を必要とし、量産化を図ることは困難であった。

【0027】また、第5従来技術では、ガス流路の深さを変更するためには、ガスセパレータに余分な厚みを持たせる必要があり、装置のコンパクト化が困難になる欠点があり、また、溝幅を変更する場合には、両側にガスを流す必要性から余分な壁を必要とするので、コンパクト化が困難となる。そして、厚みの薄いガスセパレータを作る第5従来技術では、金属同士を溶接してガスシールを施しており、高い溶接技術を維持していく必要があり、品質管理において、複雑な検査工程が要求される。

【0028】さらに第6従来技術においては、流量が多い側の断面積を大きくしなければならないことから、その加工が困難になるという欠点がある。

【0029】また、第7従来技術では、平面内の各電池の電位差が大きくなるために、隣接するセルがガス流路中の水を介して短絡したりする可能性があることや、直列に繋がった積層体中の各電池の特性を把握することが困難となり、故障や異常の診断が困難であった。

【0030】また、第8従来技術の場合は、平面内のセルの平均的な性能は積層した平面毎に把握できるが、積層する際に、層ごとの接続に外部回路を用いる必要があるために製造が複雑になり、さらに、第9従来技術では、隣接する電池との電氣的接続と併用しているため、やはり製造が複雑になってしまうという問題点があった。

【0031】この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、小型軽量で大量生産が可能な高電圧・高出力の燃料電池を得ることを目的としている。

【0032】

【課題を解決するための手段】この発明に係る燃料電池は、イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極が配されてなり、供給される酸化剤および燃料ガスにより発電を行う、少なくとも2以上重ねられる単電池と、上記単電池間に設けられ、凹凸部を表裏に有する導電性の薄板を備えるガスセパレータであって、上記薄板の表面から裏面にかけて貫通する多数の貫通孔を有し、かつ上記貫通孔が透水性で不透気性の樹脂で封孔されてなり、上記薄板の上記凹凸部と上記単電池の電極間にできる少なくとも2つの空間で上記電極に供給される上記酸化剤ガスおよび上記燃料ガスのそれぞれを供給する流体流路を形成してなる上記ガスセパレータとを備えてなるものである。

【0033】このような構成によれば、ガスを遮断するガスセパレータ中に透水性の樹脂がガスセパレータを貫通するように配置されているので、ガスセパレータを介して湿度の異なる流体が流れている場合、湿度の高い側

から低い側へ水分が移動する。したがって、セパレータを介して湿度の異なる流体が流れている場合、湿度の高い側から低い側へ水分が移動するので、燃料側への水の供給と空気側からの水の排出がスムーズに行え、高い特性の燃料電池をコンパクトにできる。

【0034】また、この発明に係る燃料電池において、上記薄板に設けられる貫通孔は、上記薄板が上記電極と接する上記凸部の頂部分を除いた部分にのみ設けられているものである。

【0035】このような構成によれば、上記作用に加え、電極近傍でのガスセパレータを通したガスのクロスリークを遮断することができ、効率の高い運転を行える燃料電池を得ることができる。

【0036】また、この発明に係る燃料電池は、イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極が配されてなり、少なくとも2以上重ねられる単電池と、上記単電池間に設けられ、凹凸部を表裏に有し、上記凹凸部と上記単電池の電極間にできる空間で上記電極に供給されるガスの流体流路を形成してなる導電性のガスセパレータであって、上記凹凸部が平面視同一位置に設けられ、かつ、上記電極と積層したときに形成される空間体積が上記ガスセパレータの構成材料の体積と同等以上となる上記ガスセパレータとを備えてなるものである。

【0037】このような構成によれば、ガスセパレータの凸部が表裏で同じ位置に設けられるので、積層体にした場合に同じ点で単電池を両側から押さえることができる。したがって、積層体にした場合に同じ点で単電池を両側から押さえることができるので、寸法精度の高い積層体が得られるとともに、電気的な抵抗も低く高い特性が得られる。

【0038】また、この発明に係る燃料電池は、上記ガスセパレータにおける上記電極と接する凸部に上記電極材料を構成する繊維径の10倍以下の高さと同径を有する突起を備えてなるものである。

【0039】このような構成によれば、ガスセパレータの電極に接する部分の小さな突起が電極基材中に食い込む。したがって、電気的接触が良好となるとともに、電極とセパレータ板がずれることなく、正しい位置を保持するので、ガスの気密性が高くなり高い特性を保持することができる。

【0040】また、この発明に係る燃料電池は、上記ガスセパレータにおける上記電極と接する凸部以外の部分に絶縁性のコーティングを施してなるものである。

【0041】このような構成によれば、ガスセパレータの電極に接する部分は電気的に導通するが、流体とは絶縁される。したがって、セパレータ板の電極に接する部分の電気的接触が保たれたまま、流路内の流体とセパレータ板間が絶縁されるので、流体内の特に水により隣接するセルとの短絡が回避でき効率の高い運転が可能とな

る。

【0042】また、この発明に係る燃料電池は、上記透水性で不透気性の樹脂として、イ) 含水率(水中浸漬時)が50重量%以上になるイオン交換樹脂、ロ) 上記イ中の特にポリパーフルオロスルホン酸または、そのフッ素化物、ハ) セルロースまたはセルロース誘導体いずれかの材料を用いてなるものである。

【0043】このような構成によれば、燃料側への水の供給と空気側からの水の排出がスムーズに行え、高い特性の燃料電池をコンパクトにできる。

【0044】また、この発明に係る燃料電池の製造方法は、上記ガスセパレータの製造に際して、上記薄板に、樹脂の溶液を塗布して、乾燥させるようにしてなるものである。

【0045】このような構成によれば、凹凸のあるガスセパレータ内のどの貫通孔にも、樹脂を含んだ溶液が行き渡り、乾燥時には封孔される。したがって、製造コストが低減し、効率のよい安定した製品を製造することができる。

【0046】また、この発明に係る燃料電池は、上記貫通孔を有する薄板の形状として、ニ) エクスパンドメタル(ラス)、ホ) メッシュ、ヘ) フェルトまたはウェブ焼結体のいずれかの形状を用いてなるものである。

【0047】また、この発明に係る燃料電池は、上記薄板として、ト) 純チタン及びチタン合金(Cr, V添加)、チ) タンタル、ニオブ、リ) 金メッキを施した銅またはニッケル、ヌ) SUS316、316Lの材料のいずれかを用いてなるものである。

【0048】また、この発明に係る燃料電池は、上記絶縁性のコーティングとして、水との接触角が180°以上の材料を用いてなるものである。

【0049】また、この発明に係る燃料電池は、上記材料として、ル) PTFE、PFA、FEP、ETFE、PVDF、TFE等のフッ素系樹脂、ヲ) シリコン樹脂のいずれかの材料を用いてなるものである。

【0050】このような構成によれば、燃料側への水の供給と空気側からの水の排出がスムーズに行え、高い特性の燃料電池をコンパクトにできる。

【0051】また、この発明に係る燃料電池の製造方法は、上記絶縁性のコーティングとして、樹脂のエマルジョンを塗布して、乾燥後、上記樹脂の融点以上であって、分解点未満の温度で焼成した後に、透水性樹脂による封孔を行うようにしてなるものである。

【0052】このような構成によれば、凹凸のあるガスセパレータ内の隅々に絶縁樹脂を含んだエマルジョンが行き渡り、乾燥焼成後に薄い皮膜が形成された後、透水性で不透気性の樹脂の溶液がどの貫通孔にも行き渡り、乾燥時には封孔される。したがって、透水性樹脂の溶液は余分な所を濡らさず、貫通孔に集中して行き渡るので、完全な封孔が安価で確実にでき、効率のよい安定し

た製品を製造することができる。

【0053】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記複合ガスセパレータを積層した際に連通する上記流体流路の周辺部にエラストマーを備えてなるものである。

【0054】このような構成によれば、平面内のそれぞれの導電部は絶縁されており独自の電圧を維持しており、反応に必要なガスはそれぞれの導電部分を横断して、全ての導電部分に無駄無く行き渡る。したがって、それぞれの導電部は絶縁されて独自の電圧を維持しており、また、反応に必要なガスはずれの無いエラストマーによりシールされているので、高電圧を得られる燃料電池を効率よく運転することができる。

【0055】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータの製造方法は、上記ガスセパレータの薄板の表裏に形成される上記凹凸部の加工と上記絶縁樹脂との接合を熱間プレス成形により同時に行うようにしたものである。

【0056】このような構成によれば、金型上に規則的に配置した導電性薄板に、プレス時に所定の位置で一定の凹凸が形成され、かつ、流し込んだ絶縁性樹脂により、一定位置を確保したまま固定配置される。したがって、導電部の形状と配置が一定で信頼性の高い複合セパレータを容易に製造することができる。

【0057】また、この発明に係る燃料電池の燃料電池の複合ガスセパレータは、上記硬質の絶縁性の樹脂として熱変形温度（ASTMD-648）が燃料電池の運転温度よりも高い80℃以上の樹脂であって、ワ）ポリカーボネート及びガラス強化ポリカーボネート、カ）耐熱ABS樹脂、ヨ）ガラス繊維充填不飽和ポリエステル、タ）ナイロン6及びガラス強化ナイロン、レ）フェノール、ソ）シリコン樹脂のいずれかの樹脂を用いてなるものである。

【0058】このような構成によれば、それぞれの導電部は絶縁されて独自の電圧を維持しており、また、反応に必要なガスはずれの無いエラストマーによりシールされているので、高電圧を得られる燃料電池を効率よく運転することができる。

【0059】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記硬質の絶縁性の樹脂として、耐熱温度が燃料電池の運転温度よりも高い80℃以上の融点の樹脂であって、ISOによる分類記号による、ツ）NBR、CR、EPM、EPDM、IIR、CSM、ネ）フッ素系FPM、ナ）シリコン系MFQのいずれかの樹脂を用いてなるものである。

【0060】このような構成によれば、それぞれの導電部は絶縁されて独自の電圧を維持しており、また、反応に必要なガスはずれの無いエラストマーによりシールされているので、高電圧を得られる燃料電池を効率よく運転することができる。

【0061】また、この発明に係る燃料電池燃料電池の複合ガスセパレータは、上記互いに絶縁された上記ガスセパレータ間に上記ガスセパレータを横断するガス流路を設け、該流路中の絶縁部を通る部分または絶縁部と導電部の境界部分において水滴を分断する括れを設けてなるものである。

【0062】このような構成によれば、平面内に独立した導電部を水滴を含んだ流体が横断した場合に、水が括れにより分断される。したがって、短絡電流を低減した電流効率の高い燃料電池が得られる。

【0063】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記互いに絶縁された上記ガスセパレータ間に上記ガスセパレータを横断するガス流路を設け、該流路中の絶縁部を通る部分または絶縁部と導電部の境界部分に、撥水性材料を設けてなるものである。

【0064】このような構成によれば、平面内に独立した導電部を水滴を含んだ流体が横断した場合にも、撥水性材料上で球状になり分断される。したがって、短絡電流を低減した電流効率の高い燃料電池が得られる。

【0065】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記各ガスセパレータに接続された導線を上記絶縁樹脂に埋設して上記複合ガスセパレータの端部まで引き出してなるものである。

【0066】このような構成によれば、絶縁樹脂によって電気的に独立に配置された任意の導電部の電位が積層体側面に出された端部で検知することができる。したがって、故障や異常の箇所を正確に判断することにより、適切な運転方法の調整によって異常を回避する可能性が高くなるとともに、修理すべき部分を特定できるので修理や維持管理が容易になる。

【0067】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記絶縁樹脂に上記平面に平行に熱電対線を埋設し、該熱電対の端部を上記複合ガスセパレータ端部まで引き出してなるものである。

【0068】このような構成によれば、予め設定した積層体内の特定部分の温度を熱起電力として端部より取り出せる。したがって、温度管理が正確になり、故障や異常の箇所を正確に判断することにより、適切な運転方法の調整によって異常を回避する可能性が高くなるとともに、修理すべき部分を特定できるので修理する際のコストが大幅に低減する。

【0069】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記絶縁樹脂に上記平面に平行に貫通孔を設け、該貫通孔に内部で対となる熱電対素線を一方の入口側から他方の口にまたがって渡し、上記貫通孔内部に熱電対の接合部が位置するようにしてなるものである。

【0070】このような構成によれば、積層体内の任意の深さの部分の温度を熱起電力として取り出すことができる。したがって、より正確な温度分布がわかり、故障

や異常の箇所を正確に判断することにより、適切な運転方法の調整によって異常を回避する可能性が高くなるとともに、故障や異常をより早く正確に察知することができる。

【0071】また、この発明に係る燃料電池は、上記ガスセパレータ単体及び積層時に形成される流体流路が、同一種の流体について複数の並列流路を有し、該並列流路上の任意の点を通る流体が、並列する同種の流体の流路中の入り口から出口において同じ流路長を流れるようにしてなるものである。

【0072】このような構成によれば、積層体内を流れる同一種の流体は、どの流路を通っても同じ道のりになるので、流路を形成するすべての部分に流体が行き渡る。したがって、流路内のあらゆる場所に流体が均等に行き渡り、特性が高く効率の高い燃料電池を得ることができる。

【0073】

【発明の実施の形態】

実施の形態1. 以下、この発明の実施の形態1について説明する。なお、この実施の形態1は、主に請求項1、2、4、6、8～11に記載される発明を示すものである。図1は、ガスセパレータ31の部分的な斜視図である。図2は、ガスセパレータ31と単電池10を積層した場合の模式的な断面図である。これらの図において、図21～図23において示したものと同一符号は同一または相当物を表している。なお、以下の実施の形態の説明においても、各図に付される同一符号は同一または相当物を表している。

【0074】32は、ガスセパレータ31を構成するための、貫通孔32hを有する凹凸を設けた導電性薄板であり、材料として純チタン(JIS-KS40)の板厚80 μ mのものに、ラス形状1.3 \times 0.7-0.16の規格で貫通孔の形成加工を施したものをを用いている。

【0075】ガスセパレータ31における表裏に形成された凸部34(反対面では凹部となる)の間隔は3mmで、凸部の頂部35は直径1.5mmとし、この頂部35中央に高さ50 μ m、底辺直径50 μ mの円錐型の突起36を設けている。この突起は図2に示す酸化剤電極3a、燃料電極4bを構成するカーボンペーパーからなる電極基材の繊維径(直径8 μ)の10倍以下の高さと直径を有して酸化剤電極3a、燃料電極4bに食い込み、ガスセパレータ31が電極3a、4bに確実に取り付けられるようにするとともに、導電性を高めるためのものである。

【0076】ただし、導電性薄板32には、凸部34の頂部35のうち表側(図中上側)に形成される部分にはラス加工が行われておらず、したがって、貫通孔32hが形成されていない。33は、封孔材として用いたイオン交換樹脂であり、e. w. (当量重量)値1100のデュボン社製のナフィオンを使用した。

【0077】また、この発明の応用例として、図3に示すように断面形状の調製により、電氣的接触面積を変化させることなく、酸化剤ガス流路12を燃料ガス流路11より小さく(この図では断面積換算で2倍)することは任意にできる。

【0078】次に動作について説明する。ガスセパレータ31と単電池10を順次重ねた燃料電池積層体の酸化剤ガス流路11に酸素ガス(空気)、燃料ガス流路12に水素ガスを流し、積層体端部を外部回路を用いて電氣的に接続すると、燃料電池反応が生じ、酸化剤電極3a上で水が生成する。この時、燃料ガス流路12内では燃料電極4b上でプロトンと同時に水分も吸収されるために湿度が低下する。

【0079】また、ガスセパレータ31内に点在する樹脂33は水分を透過するために、酸化剤ガス流路11中の過剰な水分が燃料ガス流路12中に移動し、両流路内の水分量が適度な値に保たれる。また、特に酸化剤ガス流路11内で凝縮した水は樹脂33を経由して直接燃料電極4bに水を供給することもある。また、上側の凸部35aには、貫通孔32hを設けていないので、特に拡散しやすい燃料ガス流路12中の水素の酸化剤電極3aへのクロスリークを防ぐことができる。

【0080】さらに、突起36が両電極3a、4bに食い込んでいるために、電極との電氣的接触が良好で低い抵抗を維持することができている。また、これら積層体では、ガスを分配したり電気を効率よく流すためにガスセパレータと単電池の位置を一定に保持していく必要があるが、突起36が単電池の電極基材に食い込んでおり、ガスセパレータ31と単電池10のずれを防止している。

【0081】なお、導電性薄板の材料はチタンとしたが、次のようなものが使用され得る。ト)純チタン及びチタン合金(Cr、V添加)、チ)タンタル、ニオブ、リ)金メッキを施した銅またはニッケル、ヌ)SUS316、316L。

【0082】また、複数の貫通孔32hは、ラス形状として設けたが、次のようなものが使用され得る。ニ)エキスパンドメタル(ラス)、ホ)メッシュ、ヘ)フェルトまたはウェブ焼結体。

【0083】さらに、封孔材として用いるイオン交換樹脂には、次のようなものが使用され得る。イ)含水率(水中浸漬時)が50重量%以上になるイオン交換樹脂、ロ)上記イ)中の特にポリパーフルオロスルホン酸または、そのフッ素化物、ハ)セルロースまたはセルロース誘導体。

【0084】実施の形態2. 以下、実施の形態2について説明する。なお、この実施の形態2は、主に請求項1の発明を示している。図4は実施の形態2を示す断面図であり、第6従来技術で示したように導電性のガスセパレータ31a-1、31b-1、31c-1を溶接によ

り一体化して、流体流路13及び14を単独で確保している。

【0085】それぞれ、酸化剤ガス流路11、燃料ガス流路12は、単電池10a、10bと積層した時にできる空間により形成されている。なお、この発明ではすべての導電性薄板には透水性の樹脂により封孔を施されているが、セパレータ板31cには封孔を施してはいない。また、この発明の応用例として、図3に示すように断面形状の調製により、電気的接触面積を変化させることなく、ガス流路12をガス流路11より小さく（この図では断面積換算で2倍）することは任意にできる。

【0086】次に動作について説明する。この燃料電池積層体の酸化剤ガス流路11に空気を、一度流路13を通してから流し、燃料ガス流路12に水素を流し、流路14に水を流す。そして、積層体端部を外部回路を用いて電気的に接続すると、燃料電池反応が生じ、酸化剤電極3a上で水が生成し、燃料ガス流路12内では燃料電極4b上で、プロトンと同時に水分も吸収されて湿度が低下する。

【0087】供給される空気は流路13を通る際に、酸化剤ガス流路11内の余分な水分を吸収するとともに、流路14内の水分も取り込んで燃料電池に供給するために、必要な水分をもって酸化剤ガス流路11内に供給される。また、燃料ガス流路12内の水素は隣接する流路14内の水分を吸収して適度に加湿される。このとき流路14内の水は隣接する燃料ガス流路12で水分が蒸発する際に冷却されるので、電位反応により発生した熱を除去することができる。

【0088】なお、電池反応による水の受け渡しでは、水素の加湿の方が空気の加湿よりも多量であるので、流路13と14の機能を入れ替えて水素を2段で加湿する方が良いと思われるが、ガスの流量が空気側の方が2倍以上も多いので、ここに示した実施の形態の方が良い特性が得られる。

【0089】また、この実施の形態2は多少複雑な機構であるので、ガスセパレータ用板31c-1を省略し、セパレータ用板32aと32bの間にできる流路には水を流し、板31a-1と板32b-1の穴の面積を調節して加質量を調節することも可能である。

【0090】また、図5にこの実施の形態の変形例を示すように、各凸部の形状を加工性のよい2段絞りで肩34aがつくように成形するようにすることもでき、この場合にも同等の機能を得ることができる。

【0091】実施の形態3、以下、実施の形態3について説明する。なお、この実施の形態3は主に請求項3の発明を示すものである。図6は、ガスセパレータ31の斜視図であり、図7は、ガスセパレータ31と単電池10を積層した燃料電池積層体を模式的に示した断面図である。ガスセパレータ31は、凸部の底部の直径2mm、高さ1.5mm、頂部35が直径1mmの円錐台形

であり、ピッチ3mmの間隔で千鳥状に配置されるように、カーボン粉体と樹脂の混合物を成形し、モールド加工が施されている。

【0092】なお、このガスセパレータ31の材料はカーボン材以外に、モールド加工またはそれに類する方法として金属を焼結する方法が採用される材料も選択可能である。

【0093】ガスセパレータ31のカーボン材中の空隙率は、ガスが透過しないように、数%以下に抑える必要がある。しかし、ガスセパレータ31と積層した単電池10間で囲まれた空間は、カーボン材の占める体積よりも大きく作る必要がある。これにより、ガスの圧力損失をできるだけ小さくできるよう、流路断面積を確保しつつ積層体の大きさを小さくすることが可能となる。

【0094】また、上記条件を達成するためにガス流路は直線的な溝を取らず、複数の柱または錘を壁とし、入り口と出口の間を自由にガスが行き来できるように構成した。これにより、積層体にした場合にガス流路11と12の入り口と出口を別方向に設けることが可能となり、ガス流動が直行する形態をとることができる。

【0095】また、この場合、単電池を両側から支える部分が、平面方向（図面上方）から見て同じ位置にくるように構成したので、単電池は特段に強い剛性を要求される必要がなくなり、強い積層体を製造することができる。

【0096】なお、動作については水分移動の点についてのみ、上述した実施形態と異なるだけで、燃料電池の動作としては同様である。さらに、この実施形態においては、上述したように、電極3a、4bを支える部分が上下で平面上の同じ点に配置されているので、積層体を通る電流の道りが積層体の高さと同じ最短距離を取ることができる。

【0097】実施の形態4、以下、実施の形態4について説明する。なお、実施の形態4は、主に請求項5、10、11の発明を示すものである。図8はガスセパレータ板31を模式的に示す断面図である。図中、37は絶縁性のコーティングであり、ここでは、FEPによるコーティングを行っている。また、この絶縁性のコーティング37はガスセパレータ31が電極3a、4bと接触する部分35には施されていない。

【0098】次に動作について説明する。この燃料電池積層体に反応ガスを実施の形態1のように流し、積層体端部を外部回路を用いて電気的に接続すると、ガスセパレータ31と電極3a、4bと接する部分35には伝導性があるので、燃料電池反応が生じ、水が生成する。この時、過剰な水が滞留すると電極3a、4b内でのガス拡散に支障を来すが、絶縁性のコーティング37を排水性の樹脂で行っているために水が転がるように排出され、反応がスムーズに進行する。

【0099】さらに、ガス流路11、12内の水はガス

セバレータ31とは絶縁されるために、積層体内で連通する流路(図示せず)上に来た場合であっても、他のガスセバレータの電位との違いによる短絡等を起こすことが防止される。

【0100】なお、実施の形態4では、絶縁性のコーティングとしてEFPによるコーティングを示したが、水との接触角が 180° 以上の材料において、特に次のようなものが使用され得る。ル)PTFE、PFA、FEP、ETFE、PVDF、TFE等のフッ素系樹脂、ヲ)シリコン樹脂。

【0101】実施の形態5。以下、実施の形態5について説明する。なお、実施の形態5は、主に請求項5、7、12の発明を示すものである。図9は、ガスセバレータ31と単電池10を積層した場合の断面図である。ガスセバレータ31は、実施の形態1で使用したチタンのラス板に凹凸加工を施したものであり、樹脂の溶液(エマルジョン)である、FEPを含有するエナメルを塗布し、 100°C で2時間乾燥した後、 280°C で10分間焼成する。その後、ALDRICH社製のナフィオン溶液を塗布すると、ナフィオン液はFEP樹脂の無い貫通孔にだけ入り、乾燥すると、図9のように封孔することができる。

【0102】この場合、電極と接する部分35については、あらかじめ蠟を塗っておくことによりFEP樹脂の溶液をマスクすることができ、この蠟は焼成の時には蒸発してなくなる。

【0103】動作については実施の形態1と実施の形態4に記載の通りである。なお、ここで示されるガスセバレータ31の製造方法は、実施の形態4として、図8に示したのものにも適用できる。

【0104】実施の形態6。以下、実施の形態6について説明する。なお、この実施の形態6は、主に請求項13~17の発明を示すものである。図10、図11は実施の形態6を示す断面図と平面図である。これらの図に示される複合セバレータ板において、41は、絶縁体の枠体42(以下絶縁枠という)により、9つの独立した導電セバレータ部31a~31iを平面上に一体的に接続している。独立した導電セバレータ部31a~31iには、凹凸が設けられており、積層した際に、単電池10と共働してガス流路11、12を形成している。

【0105】これらのガス流路11、12は導電セバレータ部31a~31iの領域では方向性はないが、ガス供給口22、26、排出口25、29の位置と絶縁枠42内に形成した溝や畝により流体の流動方向が規定されている。

【0106】この形状の複合セバレータは、図12に示すように金型51を使って製造される。金型51には、導電セバレータ31を形成する凹凸のある部分52を9つ設けている。さらに絶縁枠42を設ける部分には畝を形成させるための溝53やガスの供給口をつくる部分5

4が配置されている。

【0107】この製造方法については、次のような熱間プレス成形が用いられる。最初に、導電性の薄板32を凹凸部分52上に配置し、上側の金型(図示せず)を乗せて加圧し凹凸を形成させる。なお、導電性薄板32の端部には2箇所だけ凹凸を形成しており、予め粗い成形を行った絶縁枠42と共に金型中での位置が固定される。そして、金型を 270°C まで加熱して、 $1250\text{kg}/\text{cm}^2$ の成形圧力で射出成形し、冷却して複合セバレータ41を形成する。

【0108】さらに積層する際にできる連通流路22、26、25、29にあたる部分には、エラストマーとして、EPM製のガスケット43を被せているが、これも図10に示すようにはめ込むようにしているので、複合セバレータの穴との取り合いは正確に保持されている。そして、積層する際の締め付けにより単電池との間で押さえつけられて、ガスシールができるようにされている。なお、エラストマーとしては、ISOによる分類記号によれば、次のツ)~ナ)のうちのいずれかを使用し得る。ツ)NBR、CR、EPM、EPDM、IIR、CSM、ネ)フッ素系FPM、ナ)シリコン系MFQ。

【0109】さらに絶縁枠42に設けられるガスを流通させる溝(流体流路)には、図13に示すように平面上でV字型の形状で括れ44を持たせている。絶縁枠体42の材料としてはフェノール樹脂、耐熱ABS樹脂やガラス繊維を充填したPPS、ポリエステル、CTFEのように熱変形温度(基準:ASTMD-648)が燃料電池の運転温度よりも高い 80°C 以上のプラスチック(樹脂)が好ましい。

【0110】詳細には、次のような樹脂が使用され得る。ワ)ポリカーボネート及びガラス強化ポリカーボネート、カ)耐熱ABS樹脂、ヨ)ガラス繊維充填不飽和ポリエステル、タ)ナイロン6及びガラス強化ナイロン、レ)フェノール、ソ)シリコン樹脂。

【0111】ここでは、ガラス繊維強化ポリカーボネートを使用した。また、導電部31の導電性材料としては、実施の形態1で示したチタンエキスパンドメタルや黒鉛のモールド加工品が考えられる。本実施の形態6では、チタン成型品を使用した。

【0112】次に動作について説明する。空気供給口22から入った酸素ガス(酸化剤ガスである空気)はガスセバレータ内の表面の導電部及び絶縁枠に掘った溝の流路(図示せず)に沿って導電セバレータ部を31g-31f-31a-31b-31e-31h-31i-31d-31cの順で流れ排出口25から出ていく。

【0113】一方、水素ガス(燃料ガス)は燃料供給口26から入ってセバレータ板の裏側において、導電セバレータ部31a-31b-31c-31d-31e-31f-31g-31h-31iの順で流れ排出口29から排出される。

【0114】この時、各電極部では電位が発生し、積層数を n とすると、平面上の隣り合った電極での電位差は端部の接続方法にもよるが、下記のように接続すると、例えば導電セパレータ部分31aと31eでは、 $4n \times$ セル電圧の電位差が生じることになる。この電位路は次のようになる。

【0115】-端: $a1 \cdots an - b1 \cdots hp - i1 \cdots in$: +端

【0116】ここで、積層数が40枚で単電池の電圧が0.7Vとすると、隣り合った平面での電位差は実にDC112Vとなる。この時、反応によって生成した水が水滴となって導電部を横断して存在すると、よほどの純度を保たない限り、電解反応を生じることになり電力を消費することになる。

【0117】しかし、この実施形態6によれば、ガス流路の絶縁部分にV字型の括れ44があるために、その部分にきた水滴は分断され排出されるので、絶縁され無駄な電解反応を回避することができる。

【0118】実施の形態7。以下、この発明の実施の形態7について説明する。なお、実施の形態7は、主に請求項18について説明するものである。ここでは、前述した実施の形態6のV字型の括れ44部分に撥水性材料として、撥水性樹脂であるシリコンコーティングを施した。動作については、撥水材により、水滴が球状になることでさらに水滴が分断される。

【0119】実施の形態8。以下、この発明の実施の形態8について説明する。なお、実施の形態8は、主に請求項19について説明するものである。図14は、実施の形態8を示す複合ガスセパレータの模式的な平面透視図である。実施の形態8の概略内容は、実施の形態6に示した図11と同様であり省略するが、この実施の形態8においては各独立した導電セパレータ部31a~31iに接続した導線45a~45iが他の導電セパレータ部に触れることなく、絶縁棒42中に埋設され、絶縁棒の端部からガスケット43(図10参照)を突き抜けて出ている。

【0120】導線の材料には直径0.3mmの銅撚り線を使用した。さらに、絶縁部からの飛び出し位置には、3つのバージョン(図示せず)があり、積層体を形成したときに、隣り合った積層体の導電部に接続した端子が触れ合わないよう1cm異常の距離をとるようにしている。

【0121】次に実施の形態8の動作について説明する。実施の形態7のように燃料電池を動作させると各電池には起電力が生じるが、運転温度や水分量の分配により抵抗が変化したり、また、ガス流路内を流れるガス組成等により分極による電圧低下が起こる。積層体中の直列に接続した各電極には同じ電流が流れるが、僅かなガスの流通異常や面圧の作用具合、あるいはガスのリークと言った異常が発生すると特定のセルの特性が急落し、

場合によっては発熱やセパレータ板の腐食等を引き起こすことがある。

【0122】その場合、大抵は積層体全体の特性が落ちることで異常が発生しつつあることが推定できるが、どの部分で異常が起きているか知り得ないと、異常を克服できるように運転条件を変更したり、あるいは修理の際に全体を分解して一つ一つの導電セパレータ部(セル)について、別個に検査を行う必要がある。

【0123】しかし、実施の形態8に示される端子45の電圧を測れば、個々のセルの電圧が把握できるので修理すべきセルが特定でき、低コストで装置の維持が行える。

【0124】実施の形態9。以下、この発明の実施の形態9について説明する。なお、実施の形態9は、主に請求項20の複合ガスセパレータについて説明するものである。図15は、実施の形態9を示す複合セパレータの透視平面図である。図中、46は熱電対を示している。この熱電対46は、JISのKタイプの素線0.1mmのものをFEPで被覆したものであり、先端を複合ガスセパレータ41の中央部に埋設し、端子を外側まで引き出している。

【0125】次に、実施の形態9の動作について説明する。燃料電池を動作させると、発電ロスにより、水素と酸素の生成エンタルピー(ΔH)に相当する1.48Vより、低い電圧が発電される。この時、例えば0.74Vで発電すると、発電効率は50%となり、発電量と同じエネルギーが熱として発生する。この時、燃料電池を適正な温度に保つためには、適度な冷却が必要となり、その制御の目安として適正な装置温度の測定が必要となる。

【0126】ここでは、各セパレータ毎の中心の温度が正確に測定することができるので、装置全体の冷却量を規定できるほか、積層体毎の温度が把握できるので、異常の診断を行うこともできる。なお、この実施の形態は実施の形態6と複合して用いるために、導電性のシース熱電対を特定の導電部にだけ接触させて電位を計る機能を付加することも可能である。

【0127】実施の形態10。以下、この発明の実施の形態10について説明する。なお、実施の形態10は、主に請求項21の複合ガスセパレータを示すものである。図16は、実施の形態10を示す複合セパレータの透視平面図である。熱電対47は、JISのKタイプの素線0.3mmで、aがクロメル、bがアルメル部であり、cが接合部である。この熱電対素線47は複合セパレータ41のどの導電部にも触れることなく、また平面上に抜けず、セパレータ41の端部からその端部を貫く直径0.5mmの穴48の中を通過しており、実施の形態10では、素線が穴48中を自由に移動できるよう構成されている。

【0128】また、穴48の設置場所は、この図16で

は導電セパレータ部31hと31iの間を通るようにしているが、実際には導電セパレータ部31hと31g間、あるいはそれと直行する導電セパレータ部31gと31fまたは31fと31a間に設置してもよく、さらに数箇所同時に穴を設けておくことも可能である。

【0129】次に、実施の形態10の動作について説明する。熱電対素線47を外側から適度に引っ張ると、接合部47cは、穴48の中の任意の位置に移動する。このとき熱電対素線47の中央点cの位置の温度に対応した熱起電力を熱電対素線47a-bから測定できるので、各導電セパレータ部毎に任意の深さの温度が正確に測定することができ、装置全体の冷却量を規定できるほか、積層体中の反応の様子や温度が把握できるので、異常の診断を行うこともできる。

【0130】実施の形態11。以下、この発明の実施の形態11について説明する。なお、実施の形態11は、主に請求項22の複合セパレータについて説明するものである。図17は、実施の形態11を示す複合セパレータの平面図であり、ガス流路は、空気供給口22から始まり、入口23を経由して第1分岐部61を経由して並列した流路64a~64kを経由して第2分岐部62を経、さらに並列した流路65a~65kを経由して第3分岐部63を経て出口24経由で排出口25で終了する。

【0131】ここで、流路62a~62kはすべて同じ長さで断面積で平行に並んでおり、61、61、63も同様である。また、分岐部61、62、63の流路断面の水力直径は、並列流路64、65の水力直径の4倍に設定されている。

【0132】次に動作について説明する。空気供給口22から供給されるガスは並列した流路のどの流路を通るかによって何種類もの流れ方が考えられる。しかし、この時の流路の長さは、流路上のどの点を通る場合でも最短距離を取ると、分岐部61と62、63を通る合計は61の一本分となり、残る並列流路64はどれも同じ長さであり、65も同様である。従って、この流路上のどの点を取っても最短流路となる同じ流路長を取ることができる。

【0133】このとき、分岐流路の断面積は並列流路に対して著しく大きくとっているため、分岐部内での圧力損失は、流路全体の圧力損失から考えて無視できる程度に小さくなる。そこで、流路内のどの点を通る場合でも圧力損失は反応による流量の増減を入れなければ同じになり、すべての面に均等にガスが配分される。

【0134】実施の形態12。以下、この発明の実施の形態12について説明する。この実施の形態12は実施の形態11の変形例を示すものである。図18は、図17に示したようなセパレータ板内でサーペンタイン形状を取る場合の例であり、この場合でも、流路64aと64bでは同じ長さとなっている。

【0135】また、図19はこれらのセパレータを積層した場合の流路構成を示したもので、70が加湿部、60が発電部の積層体であり、加湿部分及び発電部分のどの点をとっても最短流路は同じ長さになり、ガスが均等に配置される。このセパレータにおいて、分岐部にあたる流路72、75-22、25の水力直径（水力学による定義）は、各平面内の並行（並列）流路100a、100g、80a、80fの5倍を確保している。

【0136】これらのガス流路の形成の条件としては、並列のガス流路の断面積と長さが等しいことと、並列する流路に分岐する部分が出口側と入り口側で同じ断面積と長さを有し同じピッチで分岐することである。それを満足させるためには、基本的には積層体平面及び積層方向において分岐の始めと終わりが対角に位置することが簡易に実現する基本となる。従って、図20に示されるように入り口と出口を同じ側に持ってくる場合には、分岐部では対角の位置を保つため、マニホールド90を用いて反転させて出口を導くことが考えられる。

【0137】

【発明の効果】この発明に係る燃料電池は、イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面にガス拡散性で電子伝導性を有する電極が配されてなり、供給される酸化剤および燃料ガスにより発電を行う、少なくとも2以上重ねられる単電池と、上記単電池間に設けられ、凹凸部を表裏に有する導電性の薄板を備えるガスセパレータであって、上記薄板の表面から裏面にかけて貫通する多数の貫通孔を有し、かつ上記貫通孔が透水性で不透気性の樹脂で封孔されてなり、上記薄板の上記凹凸部と上記単電池の電極間にできる少なくとも2つの空間で上記電極に供給される上記酸化剤ガスおよび上記燃料ガスのそれぞれを供給する流体流路を形成してなる上記ガスセパレータとを備えてなるものである。このような構成によれば、ガスを遮断するガスセパレータ中に透水性の樹脂がガスセパレータを貫通するように配置されているので、ガスセパレータを介して湿度の異なる流体が流れている場合、湿度の高い側から低い側へ水分が移動する。したがって、セパレータを介して湿度の異なる流体が流れている場合、湿度の高い側から低い側へ水分が移動するので、燃料側への水の供給と空気側からの水の排出がスムーズに行え、高い特性の燃料電池をコンパクトにできる。

【0138】また、この発明に係る燃料電池において、上記薄板に設けられる貫通孔は、上記薄板が上記電極と接する上記凸部の頂部分を除いた部分にのみ設けられているものである。このような構成によれば、上記作用に加え、電極近傍でのガスセパレータを通したガスのクロスリークを遮断することができ、効率の高い運転を行える燃料電池を得ることができる。

【0139】また、この発明に係る燃料電池は、イオン伝導性を有し、電子伝導性を有しない電解質層の両面に

ガス拡散性と電子伝導性を有する電極が配されてなり、少なくとも2以上重ねられる単電池と、上記単電池間に設けられ、凹凸部を表裏に有し、上記凹凸部と上記単電池の電極間にできる空間で上記電極に供給されるガスの流体流路を形成してなる導電性のガスセパレータであって、上記凹凸部が平面視同一位置に設けられ、かつ、上記電極と積層したときに形成される空間体積が上記ガスセパレータの構成材料の体積と同等以上となる上記ガスセパレータとを備えてなるものである。このような構成によれば、ガスセパレータの凸部が表裏で同じ位置に設けられるので、積層体にした場合に同じ点で単電池を両側から押さえることができる。したがって、積層体にした場合に同じ点で単電池を両側から押さえることができるので、寸法精度の高い積層体が得られるとともに、電気的な抵抗も低く高い特性が得られる。

【0140】また、この発明に係る燃料電池は、上記ガスセパレータにおける上記電極と接する凸部に上記電極材料を構成する繊維径の10倍以下の高さと同径を有する突起を備えてなるものである。このような構成によれば、ガスセパレータの電極に接する部分の小さな突起が電極基材中に食い込む。したがって、電気的接触が良好となるとともに、電極とセパレータ板がずれることなく、正しい位置を保持するので、ガスの気密性が高くなり高い特性を保持することができる。

【0141】また、この発明に係る燃料電池は、上記ガスセパレータにおける上記電極と接する凸部以外の部分に絶縁性のコーティングを施してなるものである。このような構成によれば、ガスセパレータの電極に接する部分は電気的に導通するが、流体とは絶縁される。したがって、セパレータ板の電極に接する部分の電気的接触が保たれたまま、流路内の流体とセパレータ板間が絶縁されるので、流体内の特に水により隣接するセルとの短絡が回避でき効率の高い運転が可能となる。

【0142】また、この発明に係る燃料電池は、上記透水性で不透気性の樹脂として、イ)含水率(水中浸漬時)が50重量%以上になるイオン交換樹脂、ロ)上記イ中の特にポリパーフルオロスルホン酸または、そのフッ素化合物、ハ)セルロースまたはセルロース誘導体いずれかの材料を用いてなるものである。このような構成によれば、燃料側への水の供給と空気側からの水の排出がスムーズに行え、高い特性の燃料電池をコンパクトにできる。

【0143】また、この発明に係る燃料電池の製造方法は、上記薄板に、樹脂の溶液を塗布して、乾燥させるようにしてなるものである。このような構成によれば、凹凸のあるガスセパレータ内のどの貫通孔にも、樹脂を含んだ溶液が行き渡り、乾燥時には封孔される。したがって、製造コストが低減し、効率のよい安定した製品を製造することができる。

【0144】また、この発明に係る燃料電池は、上記貫

通孔を有する薄板の形状として、ニ)エクスパンドメタル(ラス)、ホ)メッシュ、ヘ)フェルトまたはウェブ焼結体のいずれかの形状を用いてなるものである。このような構成によれば、燃料側への水の供給と空気側からの水の排出がスムーズに行え、高い特性の燃料電池をコンパクトにできる。

【0145】また、この発明に係る燃料電池は、上記薄板として、ト)純チタン及びチタン合金(Cr、V添加)、チ)タンタル、ニオブ、リ)金メッキを施した銅またはニッケル、ヌ)SUS316、316Lの材料のいずれかを用いてなるものである。このような構成によれば、燃料側への水の供給と空気側からの水の排出がスムーズに行え、高い特性の燃料電池をコンパクトにできる。

【0146】また、この発明に係る燃料電池は、上記絶縁性のコーティングとして、水との接触角が 180° 以上の材料を用いてなるものである。このような構成によれば、燃料側への水の供給と空気側からの水の排出がスムーズに行え、高い特性の燃料電池をコンパクトにできる。

【0147】また、この発明に係る燃料電池は、上記材料として、ル)PTFE、PFA、FEP、ETFE、PVDF、TFE等のフッ素系樹脂、ヲ)シリコン樹脂のいずれかの材料を用いてなるものである。このような構成によれば、燃料側への水の供給と空気側からの水の排出がスムーズに行え、高い特性の燃料電池をコンパクトにできる。

【0148】また、この発明に係る燃料電池の製造方法は、上記絶縁樹脂のコーティングとして、上記樹脂のエマルジョンを塗布して、乾燥後、上記樹脂の融点以上であって、分解点未満の温度で焼成した後に、透水性樹脂による封孔を行うようにしてなるものである。このような構成によれば、凹凸のあるガスセパレータ内の隅々に絶縁樹脂を含んだエマルジョンが行き渡り、乾燥焼成後に薄い皮膜が形成された後、透水性で不透気性の樹脂の溶液がどの貫通孔にも行き渡り、乾燥時には封孔される。したがって、透水性樹脂の溶液は余分な所を濡らさず、貫通孔に集中して行き渡るので、完全な封孔が安価で確実に行え、効率のよい安定した製品を製造することができる。

【0149】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記複合ガスセパレータを積層した際に連通する上記流体流路の周辺部にエラストマーを備えてなるものである。このような構成によれば、平面内のそれぞれの導電部は絶縁されており独自の電圧を維持しており、反応に必要なガスはそれぞれの導電部分を横断して、全ての導電部分に無駄無く行き渡る。したがって、それぞれの導電部は絶縁されて独自の電圧を維持しており、また、反応に必要なガスはずれの無いエラストマーによりシールされているので、高電圧を得られる燃料電池

池を効率よく運転することができる。

【0150】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータの製造方法は、上記ガスセパレータの薄板の表裏に形成される上記凹凸部の加工と上記絶縁樹脂との接合を熱間プレス成形により同時に行うようにしたものである。このような構成によれば、金型上に規則的に配置した導電性薄板に、プレス時に所定の位置で一定の凹凸が形成され、かつ、流し込んだ絶縁性樹脂により、一定位置を確保したまま固定配置される。したがって、導電部の形状と配置が一定で信頼性の高い複合セパレータを容易に製造することができる。

【0151】また、この発明に係る燃料電池の燃料電池の複合ガスセパレータは、上記硬質の絶縁性の樹脂として熱変形温度(ASTM D-648)が燃料電池の運転温度よりも高い80℃以上の樹脂であって、フ)ポリカーボネート及びガラス強化ポリカーボネート、カ)耐熱ABS樹脂、ヨ)ガラス繊維充填不飽和ポリエステル、タ)ナイロン6及びガラス強化ナイロン、レ)フェノール、ソ)シリコン樹脂のいずれかの樹脂を用いてなるものである。このような構成によれば、それぞれの導電部は絶縁されて独自の電圧を維持しており、また、反応に必要なガスはずれの無いエラストマーによりシールされているので、高電圧を得られる燃料電池を効率よく運転することができる。

【0152】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記硬質の絶縁性の樹脂として、耐熱温度が燃料電池の運転温度よりも高い80℃以上の融点の樹脂であって、ISOによる分類記号による、ツ)NBR、CR、EPM、EPDM、IIR、CSM、ネ)フッ素系FPM、ナ)シリコン系MFQのいずれかの樹脂を用いてなるものである。このような構成によれば、それぞれの導電部は絶縁されて独自の電圧を維持しており、また、反応に必要なガスはずれの無いエラストマーによりシールされているので、高電圧を得られる燃料電池を効率よく運転することができる。

【0153】また、この発明に係る燃料電池燃料電池の複合ガスセパレータは、上記互いに絶縁された上記ガスセパレータ間に上記ガスセパレータを横断するガス流路を設け、該流路中の絶縁部を通る部分または絶縁部と導電部の境界部分において水滴を分断する括れを設けてなるものである。このような構成によれば、平面内に独立した導電部を水滴を含んだ流体が横断した場合に、水が括れにより分断される。したがって、短絡電流を低減した電流効率の高い燃料電池が得られる。

【0154】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記互いに絶縁された上記ガスセパレータ間に上記ガスセパレータを横断するガス流路を設け、該流路中の絶縁部を通る部分または絶縁部と導電部の境界部分に、撥水性材料を設けてなるものである。このような構成によれば、平面内に独立した導電部を水滴を含

んだ流体が横断した場合にも、撥水性材料上で球状になり分断される。したがって、短絡電流を低減した電流効率の高い燃料電池が得られる。

【0155】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記各ガスセパレータに接続された導線を上記絶縁樹脂に埋設して上記複合ガスセパレータの端部まで引き出してなるものである。このような構成によれば、絶縁樹脂によって電氣的に独立に配置された任意の導電部の電位が積層体側面に出された端部で検知することができる。したがって、故障や異常の箇所を正確に判断することにより、適切な運転方法の調整によって異常を回避する可能性が高くなるとともに、修理すべき部分を特定できるので修理や維持管理が容易になる。

【0156】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記絶縁樹脂に上記平面に平行に熱電対線を埋設し、該熱電対の端部を上記複合ガスセパレータ端部まで引き出してなるものである。このような構成によれば、予め設定した積層体内の特定部分の温度を熱起電力として端部より取り出せる。したがって、温度管理が正確になり、故障や異常の箇所を正確に判断することにより、適切な運転方法の調整によって異常を回避する可能性が高くなるとともに、修理すべき部分を特定できるので修理する際のコストが大幅に低減する。

【0157】また、この発明に係る燃料電池の複合ガスセパレータは、上記絶縁樹脂に上記平面に平行に貫通孔を設け、該貫通孔に内部で対となる熱電対素線を一方の入口側から他方の口にまたがって渡し、上記貫通孔内部に熱電対の接合部が位置するようにしてなるものである。このような構成によれば、積層体内の任意の深さの部分の温度を熱起電力として取り出すことができる。したがって、より正確な温度分布がわかり、故障や異常の箇所を正確に判断することにより、適切な運転方法の調整によって異常を回避する可能性が高くなるとともに、故障や異常をより早く正確に察知することができる。

【0158】また、この発明に係る燃料電池は、上記ガスセパレータ単体及び積層時に形成される流体流路が、同一種の流体について複数の並列流路を有し、該並列流路上の任意の点を通る流体が、並列する同種の流体の流路中の入り口から出口において同じ流路長を流れるようにしてなるものである。このような構成によれば、積層体内を流れる同一種の流体は、どの流路を通っても同じ道のりになるので、流路を形成するすべての部分に流体が行き渡る。したがって、流路内のあらゆる場所に流体が均等に行き渡り、特性が高く効率の高い燃料電池を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1を示すガスセパレータの斜視図である。

【図2】 この発明の実施の形態1を示す燃料電池の断面図である。

【図3】 この発明の実施の形態1の変形例を示す燃料電池の断面図である。

【図4】 この発明の実施の形態2を示す燃料電池の断面図である。

【図5】 この発明の実施の形態2の変形例を示すガスセパレータの斜視図である。

【図6】 この発明の実施の形態3を示すガスセパレータの斜視図である。

【図7】 この発明の実施の形態3を示す燃料電池の断面図である。

【図8】 この発明の実施の形態4を示す燃料電池の断面図である。

【図9】 この発明の実施の形態5を示す燃料電池の断面図である。

【図10】 この発明の実施の形態6を示す燃料電池の断面図である。

【図11】 この発明の実施の形態6を示す燃料電池の平面図である。

【図12】 この発明の実施の形態6における製造方法を示す斜視図である。

【図13】 この発明の実施の形態7を示す、図11の一部拡大図である。

【図14】 この発明の実施の形態8を示す複合ガスセパレータの平面透視図である。

【図15】 この発明の実施の形態9を示す複合ガスセパレータの平面透視図である。

【図16】 この発明の実施の形態10を示す複合ガスセパレータの平面透視図である。

【図17】 この発明の実施の形態11を示す複合ガスセパレータのガス流路を示す平面図である。

【図18】 この発明の実施の形態12を示す平面図である。

【図19】 この発明の実施の形態12の変形例を示す平面図である。

【図20】 この発明の実施の形態12の変形例を示す平面図である。

【図21】 第1従来技術を示す固体高分子型燃料電池の断面模式図である。

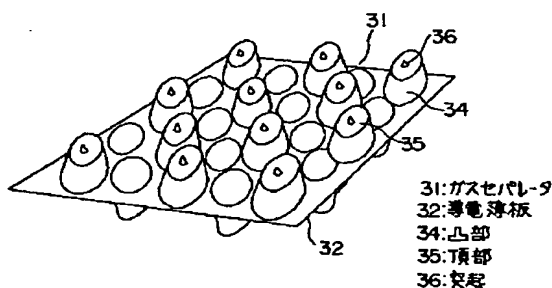
【図22】 第2従来技術を示す固体高分子型燃料電池の断面模式図である。

【図23】 第3従来技術を示す固体高分子型燃料電池セパレータの平面図である。

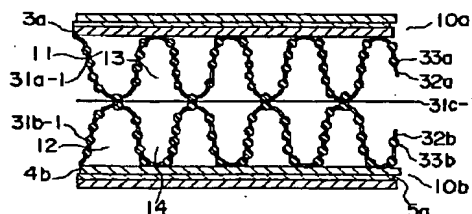
【符号の説明】

3、3a 酸化剤電極、4、4b 燃料電極、5 電解質膜、10 単電池、11 酸化剤ガス流路、12 燃料ガス流路、22、26 ガス供給口、23、27 ガス入口、24、28 ガス出口、25、29 ガス排出口、31、31a-1、31b-1、31c-1 ガスセパレータ、31a~31i 導電セパレータ部、32 導電薄板、32h 貫通孔、33 封孔樹脂、34 凸部、35 頂部、36 突起、37 絶縁性コーティング、41 複合セパレータ、42 絶縁枠、43 ガスケット、44 括れ、45 導線、46 熱電対、47 熱電対素線、61、62、63 分岐部、64、65、80a、80f、100a、100g 並列流路。

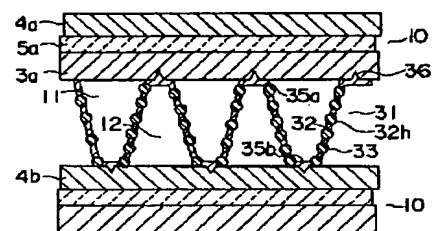
【図1】



【図4】

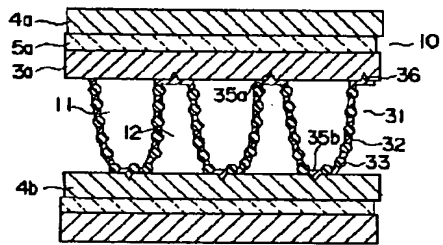


【図2】

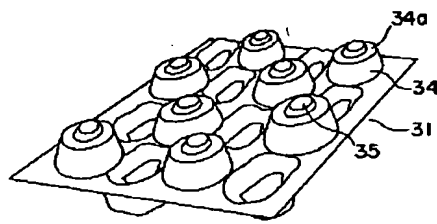


3a:酸化剤電極
4b:燃料電極
10:単電池
11:酸化剤ガス流路
12:燃料ガス流路
32h:貫通孔
33:封孔樹脂

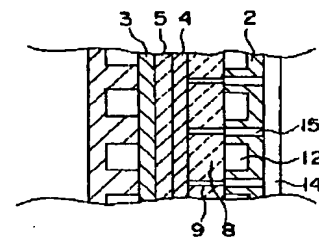
【図3】



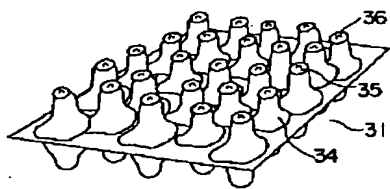
【図5】



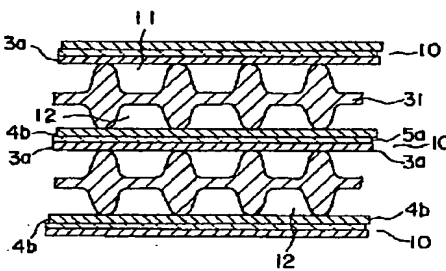
【図22】



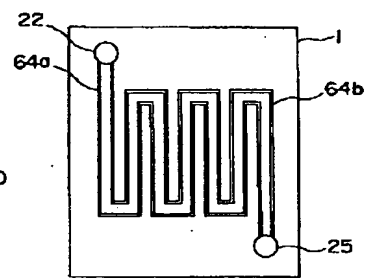
【図6】



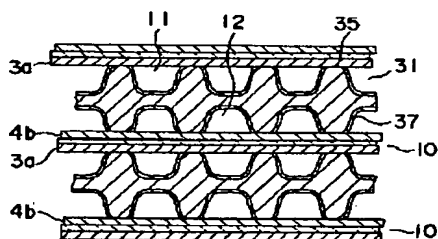
【図7】



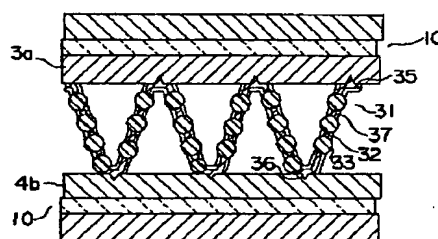
【図18】



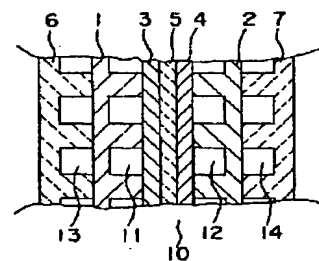
【図8】



【図9】

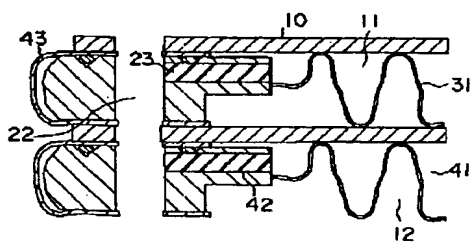


【図21】

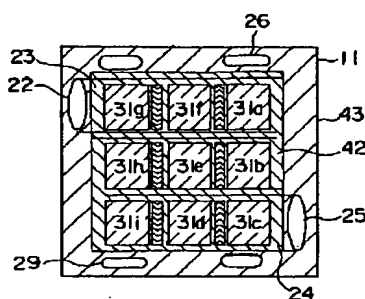


37:絶縁性コーティング

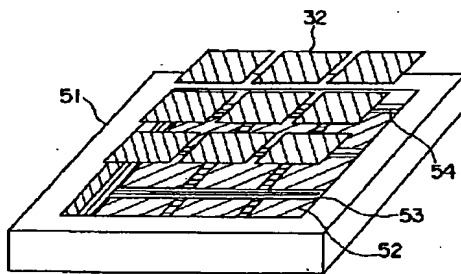
【図10】

42:絶縁棒
43:ガスケット

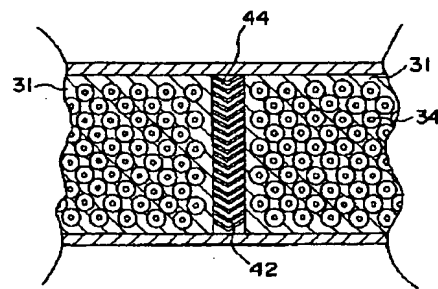
【図11】

31a-31i:導電セパレータ部
41:複合ガスセパレータ

【図12】

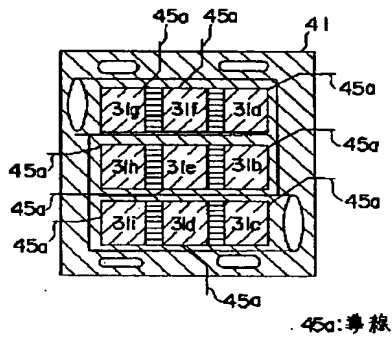


【図13】



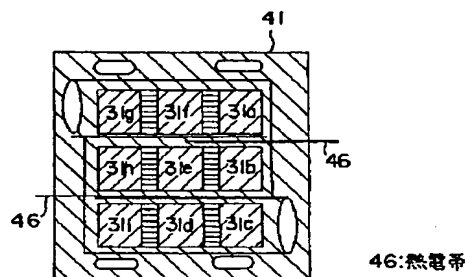
44: 挿入

【図14】



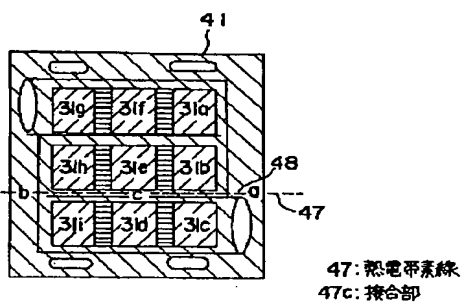
45a: 導線

【図15】

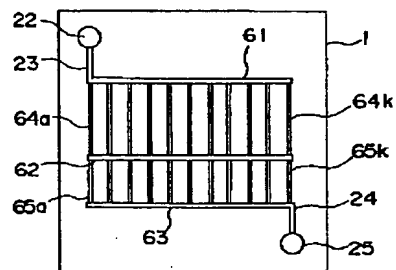


46: 熱電素

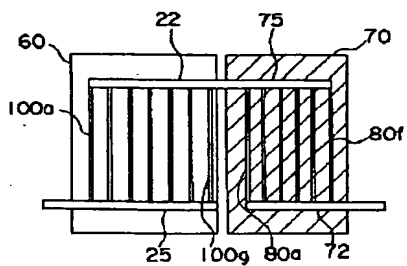
【図16】

47: 熱電素線
47c: 接合部

【図17】

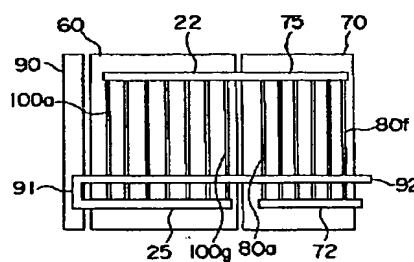
64a, 64k, 65a, 65k: 並列流路
61-63: 分岐部

【図19】



80a, 80f, 100a, 100g: 並列流路

【図20】



【図23】

